

ДЕСОРБЦИЯ КАЛИЯ И МАГНИЯ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВОЙ[§]

© 2024 г. В. Н. Якименко*

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090 Новосибирск, просп. Лаврентьева, 8/2, Россия***E-mail: yakimenko@issa-siberia.ru*

Показали, что длительный дефицитный баланс калия в агроценозе снижает способность серой лесной почвы десорбировать этот элемент в почвенный раствор в гораздо большей степени, чем магниевый дефицит – десорбцию магния. Установлено, что подвижность катионов калия больше, чем магния, независимо от степени истощения почвы в отношении этих элементов: 0.1–0.5 М раствор ацетата аммония извлекал практически весь почвенный фонд обменного калия, тогда как магния – только 65–90%. При фракционном экстрагировании калия 0.001 М раствором ацетата аммония отличия между почвами с разной калийной обеспеченностью отмечали только в 2–3-х первых вытяжках; в последующих вытяжках содержание калия выравнивалось. Содержание магния в последовательных вытяжках снижалось постепенно и примерно одинаково в почвах с его различным исходным содержанием. Показано, что интенсивность и специфика десорбции почвой калия и магния хорошо отражает плодородие почвы в отношении этих элементов.

Ключевые слова: агроценоз, почва, калий, магний, десорбция.

DOI: 10.31857/S0002188124100028, **EDN:** ANTLGI

ВВЕДЕНИЕ

Эффективное плодородие почвы в отношении, например, калия или магния определяется не только общим почвенным запасом форм этих элементов, но и их качественным состоянием, степенью подвижности – способностью к переходу почвенных ионов из более прочно ассоциированного с матрицей состояния на позиции с меньшей прочностью связи. Основная часть от общего количества поглощаемого растениями калия или магния транспортируется к корням массопотоком и диффузией [1, 2], поэтому от возможности почвы обеспечивать адекватный уровень этих элементов в почвенном растворе напрямую зависят условия питания растений.

Трансформация форм калия или магния в почве заключается в способности этих катионов занимать различные по прочности связи с почвой позиции; в ее основе лежат 2 противоположно направленных и обратимых процесса – адсорбция (фиксация) и десорбция (мобилизация) [3, 4]. В этой связи изучение природы, механизмов и факторов адсорбции–десорбции питательных элементов наряду с исследованием их форм создает фундамент для научно обоснованного регулирования плодородия почвы.

[§] Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН.

Под процессом десорбции обычно понимают переход катионов из обменно-поглощенного или необменного состояния в почвенный раствор, например в случае снижения их концентрации при потреблении растениями [3, 4]. Отметим, что изучению десорбционной способности почв, в отличие от фиксирующей, посвящено значительно меньшее количество работ. Начало подобным исследованиям было положено в трудах [5–7], использовавших для этих целей растворы уксуснокислого аммония возрастающих концентраций: считалось, что чем слабее экстрагент, тем подвижнее извлекаемый им калий и тем доступнее он растениям.

В последующих исследованиях была показана зависимость десорбции калия почвами от их гранулометрического состава, типа почвообразования, степени насыщенности почвенного поглощающего комплекса этим катионом. В опытах [8] песчаные и супесчаные дерново-подзолистые почвы отличались большей подвижностью калия по сравнению с их суглинистыми разновидностями. В исследовании [9] установлено, что скорость десорбции калия при непрерывном фракционировании из супесчаных дерново-подзолистых почв примерно на порядок больше, чем из тяжелосуглинистых, а внесение калийных удобрений существенно повышало скорость десорбции. По мнению [10], подвижность калия в почвах сильно зависит от их минералогического

состава. В работе [11] было показано, что при близком гранулометрическом и минералогическом составе почв обменный калий в подзолистых почвах более подвижен, чем в почвах гумусово-аккумулятивно-го типа почвообразования. Согласно данным [12], подвижность калия в серых лесных почвах в 2 раза больше, чем в более гумусированных черноземах.

Анализ имеющихся литературных материалов показал, что довольно немногочисленные в целом работы, оценивающие десорбционную способность почв в отношении калия, проведены в основном на целинных почвах. Исследования почв агроценозов, в связи с различной интенсивностью применения калийных удобрений, единичны [7, 10, 13], при этом авторы прогнозируют повышение десорбционной способности при регулярном внесении высоких доз калийных удобрений. Научных работ, посвященных изучению десорбции почвами магния, в отечественной литературе нам обнаружить не удалось.

Многие явления и факторы трансформации форм калия в почвах различными исследователями оценивались неоднозначно. В значительной степени это связано с тем, что механизмы и количественные проявления тех или иных процессов могут существенно отличаться в зависимости от почвенно-климатических, агротехнических и других условий. Поэтому при разработке путей эффективного использования удобрений и оптимизации питательного режима почв изучение специфики трансформации форм элементов-биофилов необходимо для каждого близкого по генезису почвенных групп в различных природных регионах.

Цель работы — изучение специфики десорбции калия и магния серой лесной почвой агроценозов, в различной степени обеспеченной этими элементами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение десорбционной способности почвы в отношении К и Mg проводили в лабораторных экспериментах с почвенными образцами, отобранными (слой 0–20 см) в различных вариантах длительного полевого и микрополевого опытов [14, 15], проведенных на научном стационаре ИПА СО РАН (Новосибирская обл., Искитимский р-н), а также расположенного рядом с опытами целинного участка. Исследованная серая лесная среднесуглинистая почва содержала 31% физической глины, 17% ила, 4% гумуса; емкость катионного обмена — 21 мг-экв/100 г. Проведенный ранее [4] анализ минералогического состава почвы показал, что почвенная фракция физического песка состоит из кварца, полевого шпата и амфиболов, а фракция физической глины содержит (в убывающем порядке) гидрослюда мусковитового типа (иллит), хлорит, каолинит, вермикулит и дисперсный смектит.

В указанных полевых опытах при выращивании картофеля ежегодно применяли следующие дозы удобрений (кг/га): N — 100, P — 60, K — 120, Mg — 50. В вариантах без внесения калийных и/или магниевых удобрений баланс этих элементов был перманентно сильнодефицитным; при систематическом использовании калия и/или магния формировался положительный их баланс.

В одном эксперименте определяли количество калия и магния, экстрагируемое из почв растворами $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ различной концентрации, предполагая, что чем слабее раствор, тем более мобильны извлекаемые им почвенные катионы. В другом лабораторном опыте проводили экстрагирование калия и магния из почвенных образцов последовательными вытяжками (период экспозиции между очередными вытяжками составлял 1 сут) 0.001 М раствора $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ до стабилизации извлекаемого количества катионов, полагая, что чем больше (и дольше) поступает калия и магния в раствор, тем выше десорбционная способность почвы в отношении этих элементов. Было проведено по 3 серии опытов в трехкратной повторности. Содержание калия и магния в указанных вытяжках определяли по методу [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Различный баланс калия и магния в вариантах полевых опытов отразился как на содержании обменной формы этих элементов в почве, так и на ее способности десорбировать катионы в почвенный раствор (табл. 1).

В вариантах опытов без внесения калийных удобрений (без удобрений и NPMg) почвенное содержание обменного калия существенно снизилось по сравнению с исходной целинной почвой — с 12 до 8–9 мг/100 г. В этом случае уровень обменного калия в данной почве достиг своего минимума и стал фактором, лимитирующим продуктивность растений; в частности, урожайность картофеля при внесении NP-удобрений не изменялась относительно контрольного варианта [17]. Этот минимальный уровень обменного калия в почве, вероятно, составляли катионы, интрамицеллярно поглощенные почвенным комплексом и межслоевым пространством глинистых минералов; селективность этих катионов к обменным позициям почвенной матрицы была выше, чем усваивающая способность выращиваемых культур. Данное количество обменного калия могло быть извлечено из почвы соответствующими химическими экстрагентами, но в питании растений оно, по-видимому, не участвовало.

Наглядным подтверждением и объяснением этого факта истощения плодородия почвы в отношении калия является резкое снижение ее способности десорбировать калийные катионы в почвенный раствор.

Таблица 1. Экстрагирование калия и магния из серой лесной почвы растворами ацетата аммония

Вариант	Концентрация ацетата аммония, М						
	0	0.001	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
Калий							
Целина	<u>2.2</u> 18.3	<u>3.9</u> 32.5	<u>8.1</u> 67.5	<u>9.8</u> 81.7	<u>10.5</u> 87.5	<u>12.0</u> 100	<u>12.0</u> 100
Без удобрений	<u>0.3</u> 3.7	<u>0.7</u> 8.6	<u>3.7</u> 45.7	<u>5.5</u> 67.9	<u>6.3</u> 77.7	<u>8.1</u> 100	<u>8.1</u> 100
NPMg	<u>0.4</u> 4.4	<u>0.8</u> 8.9	<u>4.0</u> 44.4	<u>6.0</u> 66.7	<u>7.0</u> 77.8	<u>9.0</u> 100	<u>9.0</u> 100
NPK	<u>2.9</u> 16.3	<u>4.8</u> 27.0	<u>10.0</u> 56.2	<u>13.9</u> 78.1	<u>15.9</u> 89.3	<u>17.8</u> 100	<u>17.8</u> 100
NPKMg	<u>2.6</u> 16.3	<u>4.4</u> 27.5	<u>8.6</u> 53.8	<u>12.0</u> 75.0	<u>13.5</u> 84.3	<u>16.0</u> 100	<u>16.0</u> 100
Магний							
Целина	<u>1.6</u> 11.4	<u>2.4</u> 17.1	<u>5.4</u> 38.6	<u>9.0</u> 64.3	<u>10.0</u> 71.4	<u>11.6</u> 82.8	<u>14.0</u> 100
Без удобрений	<u>1.0</u> 10.0	<u>1.6</u> 16.0	<u>3.7</u> 37.0	<u>6.0</u> 60.0	<u>6.7</u> 67.0	<u>8.0</u> 80.0	<u>10.0</u> 100
NPK	<u>0.6</u> 7.1	<u>1.1</u> 13.0	<u>3.0</u> 35.7	<u>5.1</u> 60.7	<u>5.5</u> 65.4	<u>6.8</u> 80.9	<u>8.4</u> 100
NPMg	<u>2.2</u> 11.8	<u>3.9</u> 21.0	<u>8.2</u> 44.1	<u>13.8</u> 74.1	<u>16.0</u> 86.0	<u>16.6</u> 89.2	<u>18.6</u> 100
NPKMg	<u>2.4</u> 12.0	<u>4.1</u> 20.5	<u>8.0</u> 40.0	<u>14.4</u> 72.0	<u>16.2</u> 81.0	<u>18.0</u> 90.0	<u>20.0</u> 100

Примечание. Над чертой – содержание К или Mg, мг/100 г почвы, под чертой – % от обменного (1 М раствор).

Таблица 2. Количество калия и магния, извлекаемое из серой лесной почвы 0.001 М раствором CH₃COONH₄ при фракционном экстрагировании, мг/100 г

Вариант	Последовательные вытяжки										Сумма 2–10-й фракций
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Калий											
Целина	2.8	1.5	1.1	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	5.7
Без удобрений	1.2	0.7	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	3.8
NPMg	1.0	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	3.8
NPK	4.8	2.2	1.4	0.9	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	7.3
NPKMg	4.3	2.4	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	7.0
Магний											
Целина	2.4	2.0	1.8	1.4	2.1	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	13.8
Без удобрений	1.6	1.1	1.1	1.0	1.5	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	9.8
NPK	1.2	1.0	1.0	0.9	1.4	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	8.3
NPMg	3.9	2.6	2.3	2.0	2.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	15.7
NPKMg	4.0	2.5	2.4	1.9	2.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	15.8

В вариантах с длительным дефицитным балансом калия в водную вытяжку переходило 0.3–0.4 мг К/100 г почвы, или примерно 4% всего обменного пула этих катионов, т.е. практически на порядок меньше, чем на плодородной целине и в вариантах с использованием калийных удобрений. Аналогичную ситуацию наблюдали и при экстрагировании почвенного калия слабыми растворами ацетата аммония. Эти катионы, являясь экстрамицеллярно поглощенными с относительно непрочной связью с почвенной матрицей, составляли наиболее мобильную фракцию почвенного калия и в наибольшей степени были вовлечены

в различные миграционные процессы, в т. ч. поглощение растениями. Интенсивность десорбции этих катионов и определяла, очевидно, текущие условия калийного питания культур и эффективное плодородие почвы.

Более концентрированные растворы ацетата аммония (0.1, 0.5 М) оказывали значительно более интенсивное воздействие на почву, экстрагируя практически весь калий, способный к обмену (табл. 1). Количественно пул этих катионов между вариантами опытов значительно различался (от 8 до 18 мг/100 г), но относительно общего содержания обменного калия в почве каждого конкретного варианта совокупность данных катионов составляла 90–100%. Вытяжка 1 М уксуснокислого аммония отражала общее содержание калия во всех типах обменных почвенных позиций — и экстра-, и интрамицеллярных (главным образом). Данные катионы составляют потенциальный запас обменного калия, который не всегда может характеризовать калийную обеспеченность выращиваемых культур этим элементом, прежде всего при его минимальном, истощенном уровне.

В многолетних полевых опытах, из вариантов которых была отобрана почва для рассмотренного лабораторного эксперимента, удельное потребление картофеля калия составляло 4.2 г/кг клубней (с учетом ботвы), магния — 0.23 г/кг, т.е. вынос магния урожаем был почти в 20 раз меньше, чем калия [17]. По этой причине, как нам представляется, почвенный фонд доступного растениям магния был истощен в значительно меньшей степени по сравнению с калийным фондом (в вариантах с дефицитным балансом этих элементов). Внесение магниевого удобрения на фоне NPK в опытах приводило к некоторому дополнительному повышению урожайности, однако далеко не столь значительному, как действие калия на фоне NP, т.е. магний, в отличие от калия, не являлся фактором, существенно лимитирующим урожайность растений.

Тем не менее, содержание обменного магния в почве вариантов с его дефицитным балансом заметно снизилось по сравнению с целиной — с 14 до 8–10 мг/100 г. При этом характер десорбции наиболее мобильных фракций обменного магния изменился мало. Относительное количество катионов, переходящих в водную и слабо солевую вытяжки, было практически одинаковым как в целинной почве, так и в вариантах без удобрений и NP. Очевидно, это свидетельствовало о сохраняющейся способности почвы этих вариантов опыта обеспечивать в целом нелимитированное магниевое питание растений.

При бездефицитном балансе магния в вариантах полевого опыта, наряду с увеличением почвенного пула его обменных катионов, возросла и способность почвы десорбировать магний в почвенный раствор (табл. 1). В вариантах NPMg и NPKMg количество десорбируемого магния как в абсолютных,

так в относительных величинах заметно превышало аналогичные показатели плодородной целинной почвы. Вероятно, внесенный с удобрениями магний, занимая в почвенной матрице неспецифические, планарные позиции, обладал большей подвижностью по сравнению с “природным” почвенным магнием.

Следует отметить меньшую в целом мобильность почвенного фонда обменного магния по сравнению с калием. Например, из целинной почвы в водную вытяжку переходило 18% обменного калия и только 11% — магния, а в слабый солевой раствор ацетата аммония — соответственно 33 и 17%. Та же закономерность прослежена и для почвы вариантов с бездефицитным балансом этих элементов. Весь обменный калий почвы, независимо от степени ее истощения в отношении этого элемента, извлекался 0.5 М раствором ацетата аммония, тогда как магний — только на 80–90%.

При оценке содержания обменного калия или магния в почве как индексов ее эффективного плодородия следует учитывать, что данные катионы являются частью общего катионного пула почвенно-поглощающего комплекса (ППК) и, следовательно, уровень содержания и степень их подвижности в почвах определяются свойствами ППК. По доле элемента в общей сумме обменных катионов можно уверенно судить о богатстве почвы его обменной формой, а изменение степени насыщенности ППК калием или магнием в процессе хозяйственного использования почв характеризует вектор трансформации почвенного плодородия в отношении этих элементов.

По нашим данным [4], доля калия в емкости катионного обмена (ЕКО) суглинистых почв лесостепи Западной Сибири меньше 1% соответствует предельному истощению в почве обменной формы элемента; оптимальные условия калийного питания растений складываются при насыщении обменным калием до 1.5–2.2% почвенной ЕКО. У использованной в лабораторном эксперименте почвы вариантов без удобрений и NP насыщенность ЕКО обменным калием составляла ≈1%; слабая способность этой почвы десорбировать калийные катионы подтверждала ее истощение в отношении калия. В целине и почве вариантов NPK и NPKMg доля калия в емкости поглощения находилась на уровне от 1.5 до 2.1%, десорбционная способность данных почв существенно возрастала.

В проводимых ранее полевых опытах [14, 17] содержание обменного магния в почве вариантов с его дефицитным балансом не опускалось меньше 7.2–7.5 мг/100 г при насыщенности им почвенной ЕКО ≈3%. Хотя и в этом случае магний не перешел в разряд лимитирующего фактора, тем не менее при внесении магниевого удобрения на фоне NPK отмечена явная тенденция к росту урожайности картофеля. Доля обменного магния в ЕКО почвы вариантов

лабораторного эксперимента без удобрений и NPK составляла 3.3–3.8%, при этом ее десорбционная способность мало отличалась от целинного аналога. Отметим, что в целине насыщенность ППК обменным магнием была на уровне 5.5%, а в почве вариантов NPMg и NPKMg – 7.2–7.7%. Можно предположить, что десорбционная способность исследованной почвы при насыщенности обменным магнием >3% ЕКО позволила обеспечивать продукционный процесс выращиваемых культур (по крайней мере при уровне урожайности, например, картофеля – 250–300 ц/га). Если доля магния в ЕКО почвы составляет 5–7%, магниевое питание растений не лимитировано.

Таким образом, была очевидной тесная взаимосвязь между насыщенностью ППК калием или магнием (долей в ЕКО) и интенсивностью процесса их десорбции. При насыщении ППК этими катионами значительно возрастала их подвижность; и, наоборот, снижение доли элементов в общем обменном катионном пуле резко ограничивает их активность. Повышенный (неистощенный) фонд определенного обменного катиона в почве обуславливает ее способность восстанавливать снижающуюся концентрацию этого элемента в почвенном растворе (например, при потреблении растениями), в то же время интенсивность процесса десорбции какого-либо катиона отражает текущее состояние его обменного фонда и в целом эффективное плодородие почвы в отношении данного элемента.

Способность почвы поддерживать определенную концентрацию какого-либо элемента в почвенном растворе на протяжении некоторого времени для обеспечения потребности растений можно оценить посредством фракционного (последовательного) экстрагирования (истощающая нагрузка) этого элемента водой или слабыми солевыми растворами (табл. 2).

Наибольшее количество легкообменного калия экстрагировалось из почвы всех вариантов опыта первой вытяжкой слабого раствора ацетата аммония, этот показатель обычно используют при диагностике почв, поскольку он довольно рельефно отражает различия в почвенном калийном состоянии. Например, из неистощенных в отношении калия почв (целина, NPK) первая вытяжка извлекала 3–5 мг К/100 г, тогда как из истощенных (без удобрений, NP) – 1–1.2 мг. В процессе последующего фракционного экстрагирования разница между вариантами постепенно сглаживалась, а с 5–6-й вытяжки количество калия, извлекаемого из почв разных вариантов, практически выравнивалось. Эти данные хорошо согласуются с ранее полученными результатами [18], свидетельствовавшими, что последствие калийных удобрений, даже при многолетнем положительном балансе калия в агроценозе, сохраняется не более 4–5 лет, за это время содержание обменного калия снижается до уровня не удобрявшейся почвы.

Тем не менее, очевидно, что почва с неистощенным калийным фондом (целина, NPK) могла определенное время восполнять количество калия в почвенном растворе после его удаления несколькими последовательными вытяжками. В то же время количество легкообменного калия, экстрагируемое из почв вариантов с его дефицитным балансом (без удобрений, NP), сразу же снижалось до относительно стабильного минимального уровня. Можно полагать, что десорбция калия в почвенный раствор взамен отчуждаемого происходила главным образом за счет ранее внесенного и закрепленного калия удобрений, обладавшего большей подвижностью по сравнению с природным.

Способность почвы десорбировать (мобилизовать) калий в почвенный раствор отражает не только (может быть, и не столько) первая вытяжка слабосолевого раствора, но и количество катиона, переходящее в последующие вытяжки до достижения некоторого равновесного состояния. Из почвы агроценоза с длительным дефицитным калийным балансом (варианты без удобрений, NP) дополнительно экстрагировалось (сумма 2–10-й фракций) 3.8 мг калия, тогда как почва агроценоза с бездефицитным его балансом (NPK) могла дополнительно мобилизовать 7.3 мг.

Количество калия, десорбируемое в почвенный раствор, в почве, плодородной в отношении этого элемента, было больше, чем в истощенной и в абсолютных, и в относительных величинах. Например, общее количество десорбируемого калия истощенной почвой составляло 50–60% от почвенного содержания его обменной формы (табл. 1), а в плодородной почве – 70%. Данное обстоятельство дополнительно свидетельствовало о преимуществах калийного питания растений на плодородных почвах.

Десорбция почвой магния при пролонгированном его вытеснении имела свою специфику по сравнению с калием (табл. 2), вероятно в связи с определенными отличиями позиций, занимаемых этими катионами в почвенных кристаллитах. Основным депо относительно подвижных запасов калия в почвах является иллит (содержание К – до 7%), магний же дислоцируется главным образом в хлорите (до 23% Mg), вермикулите (12–17%) и смектите (до 6%) [3]; все перечисленные минералы обладают трехслойной структурой, но с различной способностью к набуханию.

Проведенные исследования показали (табл. 2), что различия между вариантами почв с дефицитным и бездефицитным магниевым балансом по количеству экстрагируемого магния отчетливо наблюдали не только в первых вытяжках, но и на протяжении всего периода пролонгированного вытеснения. Снижение уровня содержания легкообменного магния при последовательном экстрагировании, в отличие от калия, проходило достаточно постепенно. Более того, в процессе экстрагирования отмечали еще один

пик (помимо первой вытяжки) концентрации вытесняемого магния (5-я вытяжка). Вероятно, в процессе последовательных обработок почвы раствором ацетата аммония произошла частичная распаковка почвенных агрегатов, а также увеличение степени гидролиза поверхностных слоев минералов, что способствовало дополнительной мобилизации магния. Достигнутое равновесное состояние по содержанию десорбируемого магния (1.0–1.2 мг) в конце эксперимента заметно превосходило аналогичное содержание калия (0.2–0.3 мг). Данное обстоятельство свидетельствовало о повышенных (по сравнению с калием) возможностях исследованной почвы восстанавливать концентрацию магния в почвенном растворе при его перманентном отчуждении.

В этой связи отметим, что общее количество возобновленного легкообменного магния (сумма всех вытяжек, за исключением первой) многократно превышало первоначальное (1-я вытяжка) содержание в почве данной фракции катиона (табл. 2). Обращает на себя внимание тот факт, что общее количество мобилизованного почвами легкообменного магния примерно равнялось исходным запасам его обменной формы (табл. 1), содержащейся в соответствующих почвенных вариантах в начале эксперимента. Сложно утверждать, что весь запас обменного магния переходит в почвенный раствор при последовательном вытеснении легкообменной фракции. Однако тесная прямая связь между способностью почвы поддерживать снижающийся уровень магния в почвенном растворе достаточно продолжительное время, с одной стороны, и имеющимся фондом обменной (а также необменной) формы этого элемента, с другой, очевидна. Благодаря эффективности трансформационных процессов и десорбционной способности почвы уровень наиболее мобильных фракций магния перманентно восполняется за счет более масштабных, но менее подвижных его резервов. Относительно высокая и стабильная десорбционная способность исследованной почвы в отношении магния объясняет в значительной мере сравнительно безлимитное питание растений этим элементом при достаточно длительном дефицитном его балансе в агроценозе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показали, что интенсивность и специфика десорбции почвой калия и магния хорошо отражают почвенное плодородие в отношении этих элементов. Различный баланс калия или магния в агроценозе, уменьшая или увеличивая насыщенность этими катионами ППК, соответствующим образом изменяет способность почвы к их десорбции в почвенный раствор, определяя таким образом условия питания растений.

Почва агроценоза с многолетним дефицитом калийного баланса могла десорбировать в водную и слабо солевую вытяжки лишь 4–9% имеющихся обменных катионов калия, при этом сам обменный калийный фонд находился в истощенном состоянии. Почва, плодородная в отношении калия, имеющая неистощенный фонд обменных катионов, десорбировала в водную и слабо солевую вытяжки 16–32% всего обменного калия, обеспечивая тем самым благоприятные условия калийного питания растений. Возможность достаточно быстрого истощения почвенных запасов наиболее подвижных фракций калия подтверждает факт экстрагирования из почвы практически всего запаса обменного калия 0.1–0.5 М растворами ацетата аммония.

Длительный дефицитный баланс магния в меньшей степени отразился на плодородии почвы по сравнению с калием. Слабо концентрированные экстрагенты извлекали из почвы с пониженным фондом обменного магния 7–16% его запаса, тогда как из плодородной почвы – 12–21%. Вероятно, прочность связи катионов магния с ППК исследованной почвы была больше по сравнению с калием, поскольку 0.1–0.5 М растворы ацетата аммония извлекали лишь 65–90% всего обменного магния, а не весь его фонд, как в случае с калием.

Полученные результаты свидетельствовали, что способность почвы поддерживать определенный уровень содержания легкоподвижного калия или магния при пролонгированном экстрагировании (равно как и интенсивной сельскохозяйственной нагрузке) зависела от имевшегося общего фонда формы-донора (обменная форма – для катионов почвенного раствора, необменная – для обменной) и специфики состояния катионов, обусловленной особенностями ППК.

При последовательном экстрагировании калия из почвенных образцов ощутимая разница в содержании элемента между удобренными и неудобренными вариантами почвы, обусловленная наиболее подвижными фракциями этого элемента, отмечена только в первых 2–3-х вытяжках, в дальнейшем уровень содержания десорбируемого калия в разных почвенных образцах, обеспечиваемый уже природными ресурсами, выравнивался. Внесенный с удобрениями калий (а также легкообменный калий в целинной почве) адсорбировался в основном на неспецифических позициях со слабой связью с минеральной основой почвы и в наибольшей степени был подвержен различным миграционным процессам. Почвенные запасы более прочно связанного интрамицеллярно поглощенного калия не всегда были способны своевременно удовлетворять текущие потребности растений.

Содержание легкоподвижного магния, экстрагируемого из почвы вариантов с различным его балансом, заметно различалось во всех последовательных

вытяжках, т.е. имеющийся фонд подвижного магния расходовался постепенно и с примерно одинаковой интенсивностью во всех вариантах. Почва агроценоза с длительным дефицитным балансом магния могла десорбировать заметное его количество в почвенный раствор в течение всего фракционного экстрагирования. Вероятно, в мобилизационных процессах участвовал не только магний ППК, но и в определенной степени межслоевой магний минералов с расширяющимся типом кристаллической решетки. Это свидетельствовало о повышенной способности исследованной почвы безлимитно обеспечивать потребности культур в этом элементе (тем более учитывая в целом небольшой его вынос/потребление).

Таким образом, от специфики десорбции катионов калия и магния, величины сформировавшегося в агроценозе их почвенного подвижного фонда зависела способность почвы стабильно поддерживать оптимальную для растений концентрацию этих элементов в почвенном растворе. Следовательно, характер и интенсивность процессов десорбции калия и магния в почвах целесообразно учитывать при оценке их эффективного плодородия и проведении мероприятий по его оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Barracclough P.B.* Modelling K uptake by plant from soil // Proc. 22-nd IPI Coll. Soligorsk, USSA, 1990. P. 217–230.
2. *Barber S.A., Walker J.M., Vasey E.H.* Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root // Agric. Food Chem. 1963. V. 11. P. 204–207.
3. *Барбер С.А.* Биологическая доступность питательных веществ в почве. М.: Агропромиздат, 1988. 376 с.
4. *Якименко В.Н.* Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
5. *Синягин И.И.* Калий в почвах сероземной зоны // Почвоведение. 1940. № 11. С. 55–68.
6. *Синягин И.И., Сулейманова Н.Г.* Десорбция и поглощение калия некоторыми почвами // Сибир. вестн. с.-х. науки. 1972. № 2. С. 14–19.
7. *Жукова Л.М.* Изменение свойств основных типов почв и превращение в них калия при длительном применении удобрений // Агрохимия. 1967. № 7. С. 30–40.
8. *Носов В.В., Соколова Т.А., Прокошев В.В., Исаенко М.А.* Изменение некоторых показателей калийного состояния дерново-подзолистых почв под влиянием применения калийных удобрений в длительных полевых опытах // Агрохимия. 1997. № 5. С. 13–19.
9. *Барсова Н.Ю., Прокошев В.В., Соколова Т.А.* Кинетика десорбции калия из дерново-подзолистых почв // Агрохимия. 1992. № 10. С. 39–48.
10. *Забавская К.М., Панкова Н.К., Чебан В.М.* Подвижность калия в почвах при внесении калийных удобрений // Агрохимия. 1981. № 1. С. 26–32.
11. *Середина В.П.* Калий и почвообразование. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2012. 354 с.
12. *Горбачева С.М.* Формы калия в почвах Красноярской лесостепи: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1977. 23 с.
13. *Соколова Т.А., Исаенко М.А., Носов В.В., Прокошев В.В.* Влияние длительного внесения калийных удобрений на катионный обмен калий–кальций в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического и минералогического состава // Агрохимия. 1999. № 4. С. 5–13.
14. *Якименко В.Н.* Баланс калия, урожайность культур и калийное состояние почвы в длительном полевом опыте в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2019. № 10. С. 16–24.
15. *Yakimenko V., Naumova N.* Tuning potassium and magnesium fertilization of potato in the south of West Siberia // Agronomy. 2021. V. 11. № 9. Art. 1877.
16. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
17. *Якименко В.Н.* Взаимовлияние калия и магния при выращивании картофеля на серой лесной почве // Агрохимия. 2021. № 6. С. 8–15.
18. *Якименко В.Н.* Действие и последствие калийных удобрений в полевом опыте на серой лесной почве // Агрохимия. 2015. № 4. С. 3–12.

Desorption of Potassium and Magnesium by Gray Forest Soil

V. N. Yakimenko[#]

*Institute of Soil Science and Agrochemistry,
Siberian Division, Russian Academy of Science,
prosp. Lavrentyeva 8/2, Novosibirsk 630090, Russia,
[#]E-mail: yakimenko@issa-siberia.ru*

It has been shown that a long-term potassium deficiency in the agrocenosis reduces the ability of gray forest soil to desorb this element into the soil solution to a much greater extent than magnesium deficiency – magnesium desorption. It has been established that the mobility of potassium cations is greater than that of magnesium, regardless of the degree of soil depletion in relation to these elements: 0.1–0.5 M ammonium acetate solution extracted almost the entire soil stock of exchangeable potassium, whereas magnesium – only 65–90%. During fractional extraction of potassium with 0.001 M ammonium acetate solution, differences between soils with different potash content were noted only in the first 2–3 extracts; in the following extracts, the potassium content was equalized. The magnesium content in successive extracts decreased gradually and approximately equally in soils with its different initial content. It has been shown that the intensity and specificity of soil desorption of potassium and magnesium well reflects soil fertility in relation to these elements.

Keywords: agrocenosis, soil, potassium, magnesium, desorption.